

云南剑川盆地上始新统双河组双壳类 新材料及其地质意义*

郑国栋¹⁾ 徐亚东^{1,2,3)}* * 张克信^{1,2,4)} 覃琼⁵⁾ 吴旌⁶⁾ 吴顺宝¹⁾

1) 中国地质大学(武汉)地球科学学院, 武汉 430074, yadong.xu@cug.edu.cn;

2) 中国地质大学(武汉)生物地质与环境地质国家重点实验室, 武汉 430074;

3) 自然资源部沉积盆地与油气资源重点实验室, 成都 610081;

4) 中国地质大学(武汉)地质调查研究院, 武汉 430074;

5) 贵州省有色金属和核工业地质勘查局物化探总队, 都匀 558000;

6) 中国能源建设集团浙江省电力设计院有限公司, 杭州 310014

提要 青藏高原东南缘一直被认为是高原隆升造成物质逃逸的主要场所,很好地记录了反映高原隆升的沉积、构造和生物演化事件。剑川盆地是青藏高原东南缘的一个拉分盆地。作为剑川盆地最主要的沉积地层,双河组内仅有少量双壳类化石的报道,缺少详细的化石对比研究。本文系统描述双河组最新发现的双壳类共4属9种,分别为 *Unio*, *Acuticosta*, *Cuneopsis* 和 *Anodonta* 4属, *Acuticosta huoerguosica*, *Acuticosta* sp., *Acuticosta subimmutata*, *Acuticosta* cf. *chinensis*, *Acuticosta* cf. *cuspidata*, *Acuticosta* cf. *semiretiaria*, *Unio* cf. *subparallelus*, *Cuneopsis* cf. *subceltiiformis* 和 *Anodonta* cf. *subpiscinalis* 9种,均属于古异齿目珠蚌科。其中 *Acuticosta* 和 *Cuneopsis* 为现代东亚的特征属, *Acuticosta chinensis* 和 *Cuneopsis subceltiiformis* 为长江以南的现生种,而 *Acuticosta chinensis* 以往只在新疆有过化石记录。结合双河组的侵入脉体的年龄和介形虫标准化石的研究确定双河组的时代为晚始新世,故本次研究不仅为相关双壳类的产出时代可以延伸至晚始新世提供了有力的证据和新材料,而且反映出剑川盆地双河组在晚始新世为亚热带的淡水三角洲前缘-前三角洲的沉积环境。

关键词 双壳类 双河组 晚始新世 剑川盆地 青藏高原东南缘

自始新世以来,印度-欧亚板块的碰撞和持续挤压造成了青藏高原的形成和持续演化,关于青藏高原的隆升机制一直争议不断,但国际上一致认为青藏高原东南缘为其主要的物质逃逸场所(Tapponnier *et al.*, 1982, 1986; Royden *et al.*, 1997; Clark and Royden, 2000; Tapponnier, 2001)。云南剑川盆地为青藏高原东南缘一个十分重要的新生代拉分盆地(Zhang *et al.*, 2010),其形成与演化记录了高原形成和演化过程中的关键节点。双河组为剑川盆地最重要的含煤地层,由云南地质局第12地质队创名于剑川县双河,命名为双河煤组,时代为中新统。赵国光(1965)认为双河组为一套含煤地层,与上覆剑川组和下伏丽江组均为不整合接触,时代为中新统。

1974年云南一区测队三分队更名为双河组,归入中新统,此后一直沿用(云南省地质矿产局, 1996)。前人对云南剑川盆地双河组做了一定的生物地层工作,发现了植物、双壳类、腹足类、脊椎动物和介形类等化石(赵国光, 1965; 郭福祥, 1985; 云南省地质矿产局, 1990, 1996; 马宏杰, 2013; 沈菁强等, 2017; Gourbet *et al.*, 2017; Wu *et al.*, 2018)。尽管前人在双河组发现了双壳类化石(中国的瓣鳃类化石编写小组, 1976; 郭福祥, 1985; 云南省地质矿产局, 1990, 1996),但是并没有对双河组的双壳类进行深入的古环境研究,只是简单报道了双壳类的发现。本次在剑川盆地双河煤矿实测了一条研究剖面,并在三个煤层之间的砂岩内发现了分异度

收稿日期:2018-01-03

* 国家自然科学基金项目(41672195, 41302279, 41202144), 中国地质调查局项目(1212011121261, 12120113012500)和自然资源部沉积盆地与油气重点实验室重点项目(cdcgs 2018001)等联合资助。

** 通讯作者。

较高的双壳类化石,结合地层时代进行古环境分析(插图 1)。

1 研究区地质概况

剑川盆地位于云南省大理市剑川县,北与丽江市毗连(插图 1),为冈底斯造山带(I)和羌塘-三江造山带(II)在青藏高原东南缘接连处形成的新生代拉分盆地之一(马宏杰,2013;沈菁强等,2017;Gourbet et al.,2017),其受控于乔后断裂(F₁)、剑川断裂(F₂)以及丽江断裂(F₃)。盆地内部识别出了一个正断性质的双河断裂。研究区出露的新生代地层从老到新主要有勐野井组(E_{1m})、宝相寺组(E_{2b})、九子岩组(E_{2jz})、双河组(E_{2s})和剑川组(E_{2jc})。

双河组上覆地层为剑川组,下伏地层为九子岩组。双河组在研究区主要出露在双河煤矿一带。实测剖面位于剑川盆地双河村以西的双河煤矿(插图 1),下部岩性以灰色、灰黄色石英砂岩、灰黄色长石石英砾岩为主,具楔状交错层理;中部以灰色粘土岩、灰黑色细砂岩、黄褐色粉砂岩、灰黄色钙质粉砂岩和灰色钙质泥岩为主,夹煤层;上部以灰色钙质泥岩、灰黑色泥岩、灰黄色薄层粉砂岩、灰黄色砂岩为主,夹煤层。整个剖面普遍发育平行层理,层面可见波痕构造,并在层内可见火山角砾岩和后期岩浆脉体(插图 1,2)。本次双壳化石采集于双河剖面煤层之间的 11 层,介形类化石采集于双河剖面的第 13、14 层。双河组年代的厘定初步基于火山碎屑岩夹层、层内的岩浆侵入体的定年和介形虫标准化石带。

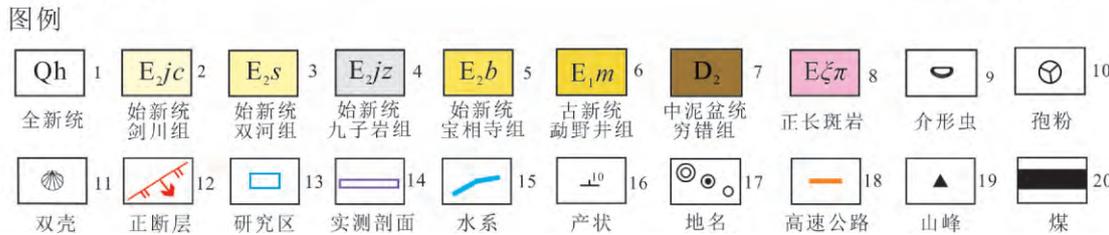
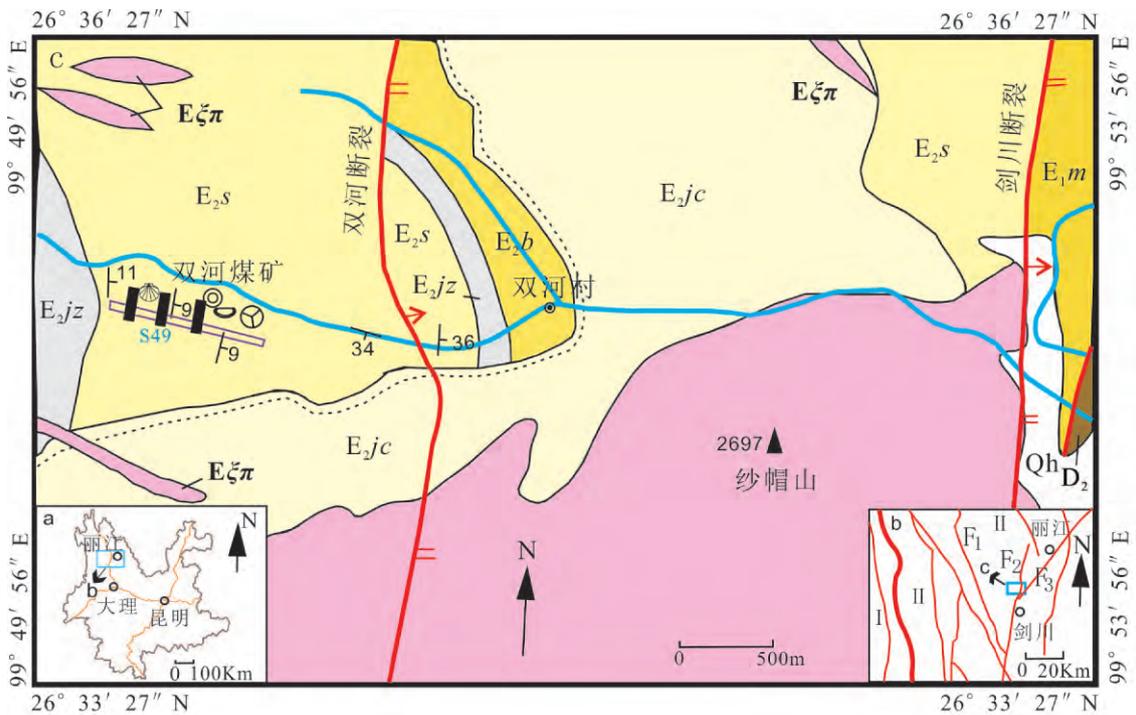


插图 1 研究区域的地理位置和地质图

Location and geological map of the research area

a. 研究区域的地理位置图;b. 研究区域的构造背景(据王国灿等,2014 修改);c. 研究区的地质简图。

a. The location of the studied section;b. The structure background of the studied section (modified by Wang et al., 2014);c. The geological map.

前人在双河组发现了不少动植物化石,其中植物化石类型主要为: *Dryophyllum yunnanense*, *Quercus* sp., *Phyllites* sp. 和 *Pinus* sp. 等(赵国光,

1965;云南省地质矿产局,1990;马宏杰,2013),有 *Phoebe-Dryophyllum-Rhus trifolia-Sassafras par-atsumu* 植物化石组合(云南省地质矿产局,1996)。

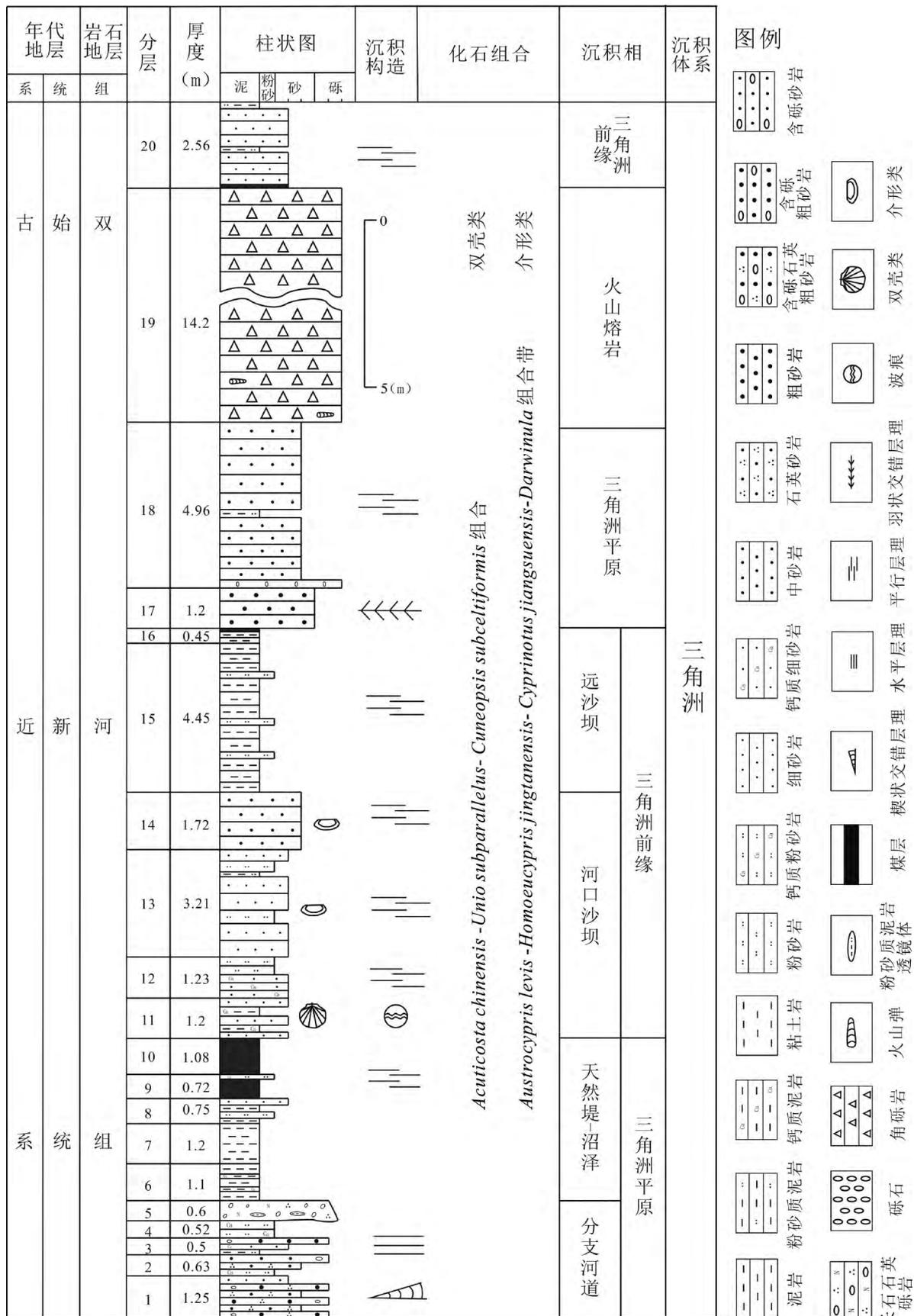


插图 2 滇西剑川盆地双河组地层柱状图

The stratigraphic column of the Shuanghe Formation, Jianchuan Basin, western Yunnan

无脊椎动物化石为腹足类 *Planorbis* sp.; 双壳类 *Unio* sp., *Rhombunio* sp. 和 *Acuticosta shuangheensis*, *Acuticosta diana* (郭福祥, 1985; 云南省地质矿产局, 1990)。脊椎动物化石 *Zaisanamynodon* sp. (Gourbet *et al.*, 2017)。本研究团队在同剖面双河组地层中发现孢粉化石主要为: *Juglanspollenites-Pinuspollenites-Composit-Oipollenites* 和 *Lygodiumsporites-Cedripites-Ephedripites* 等, 介形类化石主要有: *Austrocypris levis-Homoeocypris jingtansensis-Cyprinotus jiangsuensis-Darwinula* 组合带 (Wu *et al.*, 2018)。

本次在剑川双河组采集到的双壳化石大小不一, 形态差异较明显, 表面同心纹饰普遍比较发育。根据双壳化石的壳形、壳大小和表面壳饰进行属种对比分析, 鉴定有 *Unio*, *Acuticosta*, *Cuneopsis* 和 *Anodonta* 等 4 属 9 种 (表 I; 插图 3, 4), 对应的主要属种的详细介绍及对比见系统古生物一节。

2 相关双壳类时空分布及讨论

对于古近系—新近系非海相双壳类化石, 前人开展了一定的研究, 主要集中在新疆、广西、内蒙古、云南、甘肃、江苏、珠江三角洲等地 (中国的瓣鳃类化石编写小组, 1976; 黄宝玉、张显球, 1982; 魏景明, 1982; 郭福祥, 1985; 黄宝玉, 1983, 1992; 颜光谱, 1999; 凌联海等, 2005)。故本次将根据这些新材料对相关双壳类化石进行时代厘定, 也为整个非海相的古近系—新近系的双壳类化石面貌提供了新的

材料。

在双河地区报道过的双壳类化石, 主要类型有 *Unio* sp. 和 *Rhombunio* sp. (云南省地质矿产局, 1990); *Acuticosta shuangheensis*, *Acuticosta diana* (郭福祥, 1985); *Sphaerium scaldianum* (中国的瓣鳃类化石编写小组, 1976)。 *Acuticosta shuangheensis* 和 *Acuticosta diana* 时代均为中新统。 *Acuticosta shuangheensis* 呈梯形, 前端宽圆, 后端略收缩, 不狭长; *Acuticosta diana* 壳顶有双沟状的同轴脊, 并具有发束状的放射纹 (郭福祥, 1985)。本次采集到的双壳化石多数为三角卵圆状或为狭长状, 表面同心壳饰普遍发育, 不发育放射纹, 故可以进行区别。 *Sphaerium scaldianum* 时代为古近系。 *Sphaerium scaldianum* 在形态上和本次采集到的化石总体差别很大, 和 *A. semiretiaria* 在形态上存在一定的相似度, 但 *A. semiretiaria* 壳顶膨凸明显, 且壳顶位于壳长的 1/2, 存在明显区别 (中国的瓣鳃类化石编写小组, 1976)。

本次采集到的双壳化石均为古异齿目珠蚌科, 其中 *Acuticosta* 和 *Cuneopsis* 为现代东方的特征属 (中国的瓣鳃类化石编写小组, 1976)。 *Acuticosta huoerguosica*, *Acuticosta* sp., *Acuticosta subimmutata*, *Acuticosta* cf. *chinensis*, *Acuticosta* cf. *cuspidata*, *Acuticosta* cf. *semiretiaria*, *Unio* cf. *subparallelus* 和 *Cuneopsis* cf. *subceltiformis* 都为珠蚌亚科, *Anodonta* cf. *subpiscinalis* 为无齿蚌亚科, 根据其种属特征, 建立 *Acuticosta* cf. *chinensis*-*Unio* cf. *subparallelus*-*Cuneopsis* cf. *subceltiformis* 双

表 I 云南剑川盆地双河组双壳化石时空分布对比和古环境

The spatio-temporal distribution and paleoenvironment of bivalve fossils in the Shuanghe Formation, Jianchuan Basin, Yunnan Province

产地	种名	上始新统-下渐新统	中新统	中新统	中新统	全新统					古环境		
		新疆准噶尔安集海河组	新疆准噶尔塔西河组	苏联贝加尔洼地含煤组	新疆阿克托别克乌恰群	广西甑皮岩洞穴	河南西水坡地区	太湖地区	洞庭湖地区	鄱阳湖地区			
	<i>Acuticosta</i> cf. <i>huoerguosica</i> [△]		✓									淡水	亚热带
	<i>Acuticosta</i> <i>subimmutata</i> [△]	✓										淡水	亚热带
	<i>Acuticosta</i> cf. <i>chinensis</i> ^{+○△}	✓					✓	✓	✓	✓		淡水	亚热带
	<i>Acuticosta</i> cf. <i>cuspidata</i> [△]		✓		✓							半咸水	亚热带
	<i>Acuticosta</i> cf. <i>semiretiaria</i> [△]		✓									淡水	亚热带
	<i>Unio</i> cf. <i>subparallelus</i> [△]		✓									淡水	亚热带
	<i>Cuneopsis</i> cf. <i>subceltiformis</i> ^{+○}					✓						淡水	亚热带
	<i>Anodonta</i> cf. <i>subpiscinalis</i> [△]	✓		✓								淡水	亚热带

+ 为现生种 ○ 为中国特有种 △ 为化石种 ✓ 产地区

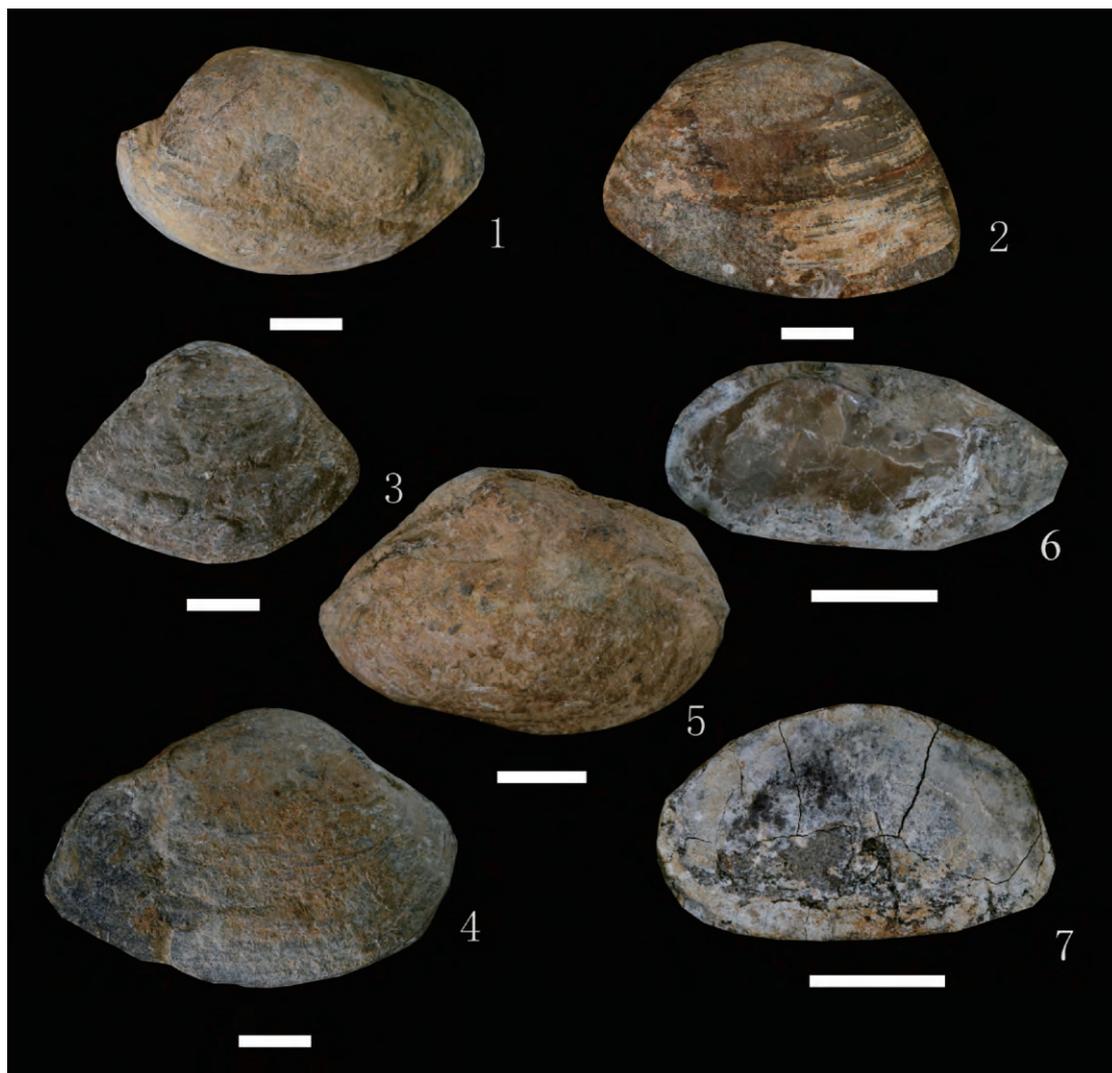


插图 3 剑川盆地上始新统双河组双壳类化石

Late Eocene bivalve fossils from the Shuanghe Formation in the Jianchuan Basin

1. *Acuticosta* cf. *huoerguosica* (Huang): 左侧视, 采集号: S49-wt-11, 剑川盆地双河组; 2. *Acuticosta* sp.: 右侧视, 采集号: S49-wt-11, 剑川盆地双河组; 3, 4. *Acuticosta subimmutata* (Huang): 3. 左侧视, 4. 右侧视, 采集号: S49-wt-11, 剑川盆地双河组; 5. *Acuticosta* cf. *semiretiaria* (Huang): 顶视, 采集号: S49-wt-11, 剑川盆地双河组; 6. *Acuticosta* cf. *cuspidata* (Huang): 左内视, 采集号: S49-wt-11, 剑川盆地双河组; 7. *Acuticosta* cf. *semiretiaria* (Huang): 右侧视, 采集号: S49-wt-11, 剑川盆地双河组。比例尺: 1 cm。标本均保存在中国地质大学地球科学学院主楼 509 室。

1. *Acuticosta* cf. *huoerguosica* (Huang): external view of left valve, S49-wt-11, Shuanghe Formation of Jianchuan Basin; 2. *Acuticosta* sp.: external view of right valve, S49-wt-11, Shuanghe Formation of Jianchuan Basin; 3, 4. *Acuticosta subimmutata* (Huang): 3. external view of right valve, 4. external view of left valve, S49-wt-11, Shuanghe Formation of Jianchuan Basin; 5. *Acuticosta* cf. *semiretiaria* (Huang): top view, S49-wt-11, Shuanghe Formation of Jianchuan Basin; 6. *Acuticosta* cf. *cuspidata* (Huang): internal view of left valve, S49-wt-11, Shuanghe Formation of Jianchuan Basin; 7. *Acuticosta* cf. *semiretiaria* (Huang): external view of left valve, S49-wt-11, Shuanghe Formation of Jianchuan Basin. Scale: 1 cm. All bivalve fossils are housed in Room 509, Main Building, School of Earth Science, China University of Geosciences, Wuhan, China.

壳类组合(插图 2, 3, 4)。在和广西、江苏、甘肃、新疆和珠江三角洲的淡水双壳类进行对比的过程中, 发现虽然它们总体形态略为相似, 但本次采集到的化石主体呈尖卵状, 前后端一般都比较狭尖, 总体形态特征符合尖锐棱蚌的特征, 并且可以和新疆准噶

尔的安集海河组以及塔西河组的双壳化石进行很好的对比(中国的瓣鳃类化石编写小组, 1976; 魏景明, 1982; 黄宝玉、张显球, 1982; 黄宝玉, 1983, 1992; 颜光谱, 1999; 凌联海等, 2005)。如表 I 所示, *Acuticosta huoerguosica*, *Acuticosta* cf. *semiretiaria*,

Unio cf. subparallelus 在新疆准噶尔盆地中新统塔西河组(原上绿色组)曾有过化石记录, *Acuticosta cf. cuspidata* 在新疆准噶尔盆地中新统塔西河组、新疆伊犁尼勒克县阿克托别克地区中新统乌恰群有过化石记录, 其生活在半咸水环境(中国的瓣鳃类化石编写小组, 1976; 魏景明, 1982; 凌联海等, 2005)。 *Acuticosta subimmutata*, *Acuticosta cf. chinensis*, *Anodonta cf. subpiscinalis* 在新疆准噶尔盆地的上始新统一下渐新统安集海河组(原下绿色组)曾有过化石记录(中国的瓣鳃类化石编写小组, 1976; 魏景明, 1982)。 *Acuticosta chinensis*, *Cuneopsis cf. subceltiformis* 为长江以南的现生种, *Acuticosta chinensis* 广泛发育在现代湖泊地区(林振涛, 1962; 张玺、李世成, 1965; 张玺等, 1965; 刘月英等, 1980; 黄宝玉, 1981; 郭书元、孙长虹, 2003)。 *Acuticosta chinensis* 以往仅在新疆有过化石记录, 本次在云南剑川双河组也有发现。 *Anodonta cf. subpiscinalis* 的正型种产于苏联贝加尔洼地塔航区中一下中新统含煤组中(魏景明, 1982)。 *Cuneopsis cf. subceltiformis* 与广西桂林甑皮岩洞穴遗址的原种极为相似, 仅存在大小的区别以及缺少铰合构造的对比。 *Sphaerium scaldianum* 本次虽没有采集到样品, 但前人在广州王太庄始新统宝月组采集到了 *Sphaerium scaldianum*(黄宝玉、张显球, 1982)。

从插图 2 可以看出双壳类化石产自于剖面的 11 层, 介形类化石产自剖面的 13、14 层。研究团队在双河组发现的介形虫组合带 *Austrocypris levis-Homoeocypris jingtangensis-Cyprinotus jiangsuensis-Darwinula* 可以与中国上始新统到下渐新统的标准化石带 *Austrocypris-Cyprinotus-Pelocypris* 组合带进行对比, 其中 *Austrocypris levis* 和 *Cyprinotus jiangsuensis* 为上始新统到下渐新统青藏高原丁青湖的标准化石(全国地层委员会中国地层表编委会, 2014); 此外, 双河组内的所有火山碎屑岩夹层以及粗面安山岩脉体的年龄范围在 34.7—37.1 Ma 之间, 平均年龄为约 35.9 ± 0.9 Ma, 应该归属于上始新统(Gourbet *et al.*, 2017)。据此, 可以确定发现的双壳类化石组合时代为上始新统。

3 古环境分析

现代蚌类是常见的软体动物, 生活在江、河、湖泊或池塘各种不同的淡水水域(刘月英等, 1965)。通过前人对于新疆准噶尔安集海河组和塔西河组、

新疆伊犁尼勒克县阿克托别克地区的乌恰群、以及广西桂林甑皮岩洞穴、河南濮阳西水坡、洞庭湖、鄱阳湖和太湖等地区的蚌类研究发现, *Acuticosta*, *Unio*, *Cuneopsis* 和 *Anodonta* 的沉积环境可以是湖泊相和河流相, 大部分为淡水湖相(林振涛, 1962; 张玺、李世成, 1965; 张玺等, 1965; 刘月英等, 1980; 黄宝玉, 1983; 郭书元、孙长远, 2003; 凌联海等, 2005; 季军良等, 2010)。本次实测剖面下部岩性以灰色、灰黄色石英砂岩、灰黄色长石石英砾岩为主, 具楔状交错层理; 中部以灰色粘土岩、灰黑色细砂岩、黄褐色粉砂岩、灰黄色钙质粉砂岩和灰色钙质泥岩为主, 夹煤层; 上部以灰色钙质泥岩、灰黑色泥岩、灰黄色薄层粉砂岩、灰黄色砂岩为主, 夹煤层。见平行层理, 波痕构造。综合岩性、沉积构造认为双河组的沉积环境应该为三角洲前边的分流河道砂质、砂砾质、含砂泥质到前三角洲的灰色、灰黑色的含砂泥质、砂质、泥质沉积环境。

现代丽蚌动物群 *Lamprotula-Cuneopsis-Unio* 均生活在浅水水域, 对于水体底质的要求往往不同, 但多为泥底、砂泥底或泥沙底, 无齿蚌多喜软泥底。它们适应的流水环境也不同, 可以是缓流、激流, 也可以是静水湖泊。本次云南剑川盆地双河组双壳化石大多数生活在浅水环境, 也有一个属种可出现在半咸水环境中(表 I)(郭书元、孙长远, 2003; 凌联海等, 2005; 郭书元等, 2014)。本次双壳化石大多呈侧卧覆在岩石上, 为正常底栖在湖底, 且表面同心壳饰多发育, 部分壳面有破损。实测双河剖面平行层理发育, 并见波痕构造, 认为其生活环境应该不仅仅是静水, 而是有一定能量的淡水环境。

上始新统到渐新统, 新疆准噶尔处于亚热带-温带气候带, 至上中新统一上新统, 由于天气转冷, 准噶尔喜温的双壳组合“UASPCE”和“UCCAHP-L”由北向南转移, 消失在新疆地区(魏景明, 1982)。到了第四纪, 华北部分地区及长江中下游流域现代湖泊普遍出现丽蚌动物群组合 *Lamprotula-Cuneopsis-Unio*(郭书元等, 2014)。结合河南濮阳西水坡新石器丽蚌动物群、河北白洋淀地区全新统丽蚌动物群、以及现代长江中下游的太湖地区、鄱阳湖地区、洞庭湖地区等现代湖泊的同属种生活气候主要为亚热带潮湿气候(郭书元、孙长远, 2003; 郭书元等, 2014)。同时, 双河组的孢粉化石所重建的剑川盆地上始新统时的古植被类型为热带-亚热带落叶阔叶林-落叶针阔叶混交林(Wu *et al.*, 2018)。可见云南剑川双河组的双壳化石更适应亚热带的气候。

通过对本次云南剑川盆地的主要属种与新疆准噶尔双壳动物群、华北地区丽蚌动物群、长江中下游的丽蚌动物群的主要属种对比分析,可以看出现代丽蚌为各大湖泊区的优势种,而锐嵴蚌的数量很少,仅现生种中国锐嵴蚌在各大现代湖泊区比较发育。双壳动物群的分布特点反映其演化迁徙的过程中可能受到了青藏高原隆升的影响,上始新统时可见于新特提斯洋周边(比如滇西和新疆准噶尔),之后喜温的双壳分布具有由高原向四周、由源头向江河中下游迁移,并可能沿着长江和黄河等起源于青藏高原的大河向东部迁徙,形成在第四系华北和长江中下游湖泊分布的特点。

4 系统古生物

珠蚌目 Order Unionoida Stoliczk, 1871

珠蚌超科 Superfamily Unionacea Fleming, 1828

珠蚌科 Family Unionidae Fleming, 1828

珠蚌亚科 Subfamily Unioninae Fleming, 1828

锐嵴蚌属 Genus *Acuticosta* Simpson, 1900

模式种 *Uion chinensis* Lea, 1868

属征 壳不大。卵椭圆形或斜三角形,后腹角略伸出。壳体中等膨凸。后壳顶脊相当发育,从壳顶伸向后腹角。壳顶高突,靠前,壳顶饰由同心状到锯齿状褶脊组成。壳面除同心线外,有的在后壳顶脊或其他隆脊上,还有由壳顶褶脊发展的疣饰,分布到壳体中部。

分布及时代 亚洲;古近纪至现代。

霍尔果斯锐嵴蚌(比较种) *Acuticosta* cf. *huoerguosica* Huang, 1976

(插图 3,图 1)

cf. 1976 *Acuticosta huoerguosica* Huang, 中国的瓣鳃类化石编写小组, 335 页, 图版 131, 图 2—4。

cf. 1982 *Acuticosta huoerguosica* Huang, 魏景明, 25 页, 图版 45, 图 2—3。

材料 外模标本 1 块,完整左壳。

特征 壳较大,壳长 55 mm,壳高 32 mm。较膨凸,横长正卵形,不等侧。除前背部略凹曲外,前边、腹边和后边为规则圆弧。壳长约为壳高的 2 倍。壳顶膨凸,较宽平,靠近前端。壳面具有粗的同心脊,前边同心脊明显,后边不甚明显。

讨论 当前标本与新疆准噶尔盆地霍尔果斯的同种标本(中国的瓣鳃类化石编写小组, 1976; 魏景明, 1982)相比,壳形和膨凸程度一致,不同的是,当

前标本卵圆形,前部膨度很大,前背部略凹曲,壳面发育不明显的同心脊。

产出层位 新疆准噶尔盆地霍尔果斯,中新统塔西河组;云南剑川盆地剑川县双河煤矿,上始新统双河组。

锐嵴蚌(未定种) *Acuticosta* sp.

(插图 3,图 2)

材料 外模标本 1 块,左壳完整。

特征 壳较大。壳长 50 mm,壳高 30 mm。壳较厚,膨凸感差,斜三角形,近等侧。前背部、后腹部圆弧形,腹边较直,近平形。壳顶不明显。壳面发育细的同心线,由前腹部向后背部延伸。后壳顶脊不明显。

讨论 当前标本根据斜三角形的壳形和同心纹饰,可归入 *Acuticosta* 属,但难以归入已知种,因材料较少,难以建立新种,故定为未定种。

产生层位 云南剑川盆地剑川县双河煤矿,上始新统双河组。

近变锐嵴蚌 *Acuticosta subimmutata* Huang, 1976

(插图 3,图 3,4)

1976 *Acuticosta subimmutata* Huang, 中国的瓣鳃类化石编写小组, 334 页, 图版 129, 图 1—3。

1982 *Acuticosta subimmutata* Huang, 魏景明, 23 页, 图版 44, 图 12—14。

材料 外模标本 2 块,外形保存良好的左右壳各一块,右壳同心线保存良好。

特征 壳中等大小,最大壳长 62 mm,最大壳高 40 mm。微膨凸,尖卵形,不等侧。前背部略凹曲,前边、腹边、后腹边为规则圆弧形。壳顶位于近前端,较宽平,突出较边。壳体表面发育粗细相间的同心线,同心线由前背部向后腹部方向延伸,后腹部的同心线由于壳面破损不甚明显。

讨论 当前标本与新疆准噶尔盆地托斯台奎屯河的同种标本(中国的瓣鳃类化石编写小组, 1976; 魏景明, 1982)基本一致,只是当前标本膨凸感较差,壳面同心线明显,且粗细不同。

产出层位 新疆准噶尔盆地托斯台奎屯河边,渐新统安集海河组;云南剑川盆地剑川县双河煤矿,上始新统双河组。

中国锐嵴蚌(比较种) *Acuticosta* cf. *chinensis* Lea, 1868

(插图 3,图 5)

cf. 1965 *Acuticosta chinensis* Lea, 张玺, 201 页, 图版 II, 图

17—18。

cf. 1976 *Acuticosta chinensis* Lea, 中国的瓣鳃类化石编写小组, 333—334 页, 图版 129, 图 14。

cf. 1982 *Acuticosta chinensis* Lea, 魏景明, 24 页, 图版 44, 图 16。

材料 外模标本 1 块, 外形保存良好的右壳。

特征 壳中等大小, 壳长 48 mm, 壳高 18 mm。较膨凸, 椭圆形, 近等侧。前腹部、后腹部和前边圆弧形, 腹边较直, 近平形。壳顶膨凸, 壳顶位于中前部, 突出于较边之上, 最大凸度位于中部。壳面后腹部同心脊粗而显著, 壳顶同心脊不明显。

讨论 当前标本与新疆准噶尔盆地南边采集到的同种标本(中国的瓣鳃类化石编写小组, 1976; 魏景明, 1982)在壳大小、壳形、壳顶位置上较为一致, 不同的是当前标本壳顶突出明显, 壳面同心脊发育。当前标本与张玺(1965)的正模标本在壳形、壳顶膨凸上较为一致, 不同的是前腹部和后腹部较原标本略狭圆, 腹边近直。

产生层位 新疆准噶尔盆地南边, 渐新统安集海河组; 云南剑川盆地剑川县双河煤矿, 上始新统双河组。

尖锐峭蚌(比较种) *Acuticosta cf. cuspidata* Huang, 1976

(插图 3, 图 6)

cf. 1976 *Acuticosta cuspidata* Huang, 中国的瓣鳃类化石编写小组, 334 页, 图版 129, 图 1—3。

cf. 1982 *Acuticosta cuspidata* Huang, 魏景明, 25 页, 图版 45, 图 4—5。

cf. 1982 *Acuticosta cuspidata* Huang, 凌联海等, 440 页, 插图 3, 图 4。

材料 内模标本 1 块, 为左壳较完整的内模。

特征 壳小, 壳长 26 mm, 壳高 15 mm。较膨凸, 狭尖椭圆形, 不等侧。壳前部圆弧形, 后背部狭圆弧形, 腹边较直, 近平行。壳顶膨凸, 靠近前端。壳面纹饰因标本保存不佳不明显。本种形态、膨凸和尖锐峭蚌一致, 但因标本重结晶比较厉害, 且保存不佳, 故定为比较种。

讨论 当前标本与新疆准噶尔盆地塔西河组采集到的同种标本(中国的瓣鳃类化石编写小组, 1976; 魏景明, 1982)在壳大小、壳形、膨凸程度上较为一致, 不同的是当前标本因保存不佳未见壳面纹饰。伊犁尼勒克县阿克托别克地区的同种标本(凌联海等, 2005)因照片模糊、无文字描述无法进行讨论比较。

产生层位 新疆准噶尔盆地塔西河, 中新统塔西河组; 新疆伊犁尼勒克县阿克托别克地区, 中新统

乌恰群; 云南剑川盆地剑川县双河煤矿, 上始新统双河组。

半网状锐峭蚌(比较种) *Acuticosta cf. semiretiaria* Huang, 1976

(插图 3, 图 7)

cf. 1976 *Acuticosta semiretiaria* Huang, 中国的瓣鳃类化石编写小组, 334 页, 图版 130, 图 2。

cf. 1982 *Acuticosta semiretiaria* Huang, 魏景明, 图版 45, 图 1。

材料 外模标本 1 块, 为轮廓完整的右壳。

特征 壳小, 壳长 25 mm, 壳高 18 mm。膨凸, 卵圆形, 近等侧。前背部、后腹部呈规则圆弧形, 腹边较直, 近平行。壳顶宽平, 略靠近前部。壳面纹饰因保存不佳, 未见。

讨论 当前标本与新疆准噶尔盆地塔西河组采集到的同种标本(中国的瓣鳃类化石编写小组, 1976; 魏景明, 1982)在壳大小、壳形和壳顶宽平上较为一致, 不同的是当前标本因保存不佳未见壳面纹饰。

产生层位 新疆准噶尔盆地塔西河, 中新统塔西河组; 云南剑川盆地剑川县双河煤矿, 上始新统双河组。

珠蚌属 Genus *Unio* Retzius, 1788

模式种 *Unio tunidus* Retzius, 1788

属征 卵形至长形。前圆, 后部伸长或后边微显双角状, 但一般后腹部不向后下方伸长。有后壳顶脊。壳顶不很靠前。略膨凸。壳顶饰由锯齿状褶脊或由双钩状排列的两列疣所组成。

分布及时代 亚、欧、北美洲和非洲的北部和东部; 晚二叠世至现代。

近平行珠蚌(比较种) *Unio cf. subparallelus* Huang, 1976

(插图 4, 图 1)

cf. 1976 *Acuticosta subparallelus* Huang, 中国的瓣鳃类化石编写小组, 334 页, 图版 130, 图 2。

cf. 1982 *Acuticosta subparallelus* Huang, 魏景明, 24 页, 图版 45, 图 1。

材料 外模标本 1 块, 为后端略缺的右壳。

特征 壳较大, 壳长 58 mm, 壳高 26 mm。壳薄, 近平行四边形, 不等侧。前部宽圆, 后背部呈明显的切割状, 腹边较直, 近平行。壳顶较小, 突出于较边之上, 较破损, 不甚明显。壳面宽平, 发育低平宽缓的同心环, 不甚明显。



插图 4 剑川盆地上始新统双河组双壳类化石

Late Eocene bivalve fossils from the Shuanghe Formation in the Jianchuan Basin

1. *Unio* cf. *subparallelus* (Huang): 右侧视, 采集号: S49-wt-11, 剑川盆地双河组; 2. *Cuneopsis* cf. *subceltiformis* (Huang): 左侧视, 采集号: S49-wt-11, 剑川盆地双河组; 3. *Anodonta* cf. *subpiscinalis* (Martinson): 左侧视, 采集号: S49-wt-11, 剑川盆地双河组。比例尺 1 cm。标本均保存在中国地质大学地球科学学院 509 室。

1. *Unio* cf. *subparallelus* (Huang): external view of left valve, S49-wt-11, Shuanghe Formation of Jianchuan Basin; 2. *Cuneopsis* cf. *subceltiformis* (Huang): external view of left valve, S49-wt-11, Shuanghe Formation of Jianchuan Basin; 3. *Anodonta* cf. *subpiscinalis* (Martinson): external view of left valve, S49-wt-11, Shuanghe Formation of Jianchuan Basin. Scale: 1 cm. All bivalve fossils are housed in Room 509, Main Building, School of Earth Science, China University of Geosciences, Wuhan, China.

讨论 当前标本与中国的瓣鳃类化石编写小组(1976)、魏景明(1982)于新疆准噶尔盆地霍尔果斯采集到的同种标本在壳形、壳的大小、壳饰上基本一致,不同的是当前标本的后部上部切割较深,且壳顶的位置更远离前部。

产生层位 新疆准噶尔盆地塔西河,中新统塔西河组;云南剑川盆地剑川县双河煤矿,上始新统双河组。

楔蚌属 Genus *Cuneopsis* Simpson, 1900

模式种 *Unio celtiformis* Heude, 1874

属征 壳较厚。前端短圆,后端较狭窄,楔形或长卵形。盾纹面多低扁,无明显的后壳顶脊。前部膨凸。壳顶区高耸,壳顶饰常为倒人字形或双沟状的“W”形,或是由双沟状演化而来的放射状带痣的褶脊。壳面同心线粗而明显。

分布及时代 亚洲,非洲北部;晚三叠世,侏罗纪至现代。

近矛状楔蚌(比较种) *Cuneopsis* cf. *subceltiformis* Huang, 1981

(插图 4, 图 2)

cf. 1981 *Cuneopsis subceltiformis* Huang, 黄宝玉, 201 页, 图版 I, 图 5—6。

材料 外模标本 1 块,为轮廓完整、壳顶有所破损的左壳。

特征 壳大,壳长 60 mm,壳高 38 mm。壳较厚,长矛形,不等侧。前腹部呈宽圆状,向后端逐渐变为狭圆状,背边呈宽圆弧形,边较直,近平行。壳顶较宽,靠前端,较膨凸,因壳面有所破损,未见后壳顶脊。壳面发育同心环,壳的后腹部因破损,同心环不明显。

讨论 当前标本与广西桂林甑皮岩采集到的同种标本(黄宝玉, 1981)在壳形、壳饰上非常相似。不同的是当前标本壳长以及壳高都不及原种,无明显的铰合构造,未见后壳顶脊。当前标本与 *Cuneopsis celtiformis* (Heude) 的区别主要在于后者的前部膨

凸明显,向后部逐渐变得扁平。

产生层位 广西桂林甑皮岩洞穴遗址,全新统;云南剑川盆地剑川县双河煤矿,上始新统双河组。

无齿蚌亚科 Subfamily Anodotinae Ortmann, 1910

无齿蚌属 Genus *Anodonta* Lamarck, 1799

模式种 *Mytilus cygneus* Linné, 1758

属征 壳较大而薄。椭圆形或圆四方形。后背部有时稍有点翼状伸出,后腹角常明显。壳顶宽大,微突出较边之上,稍靠前端。壳顶发育同心状或双沟状的壳饰。壳面多较光滑,仅有同心线。较边窄,无铰齿。闭肌痕弱。

分布及时代 亚、欧、北美、中美和北美洲;古近纪至现代。

近鱼状无齿蚌(比较种) *Anodonta cf. subpiscinalis* Martinson, 1951

(插图 4, 图 3)

cf. 1976 *Anodonta subpiscinalis* Martinson, 中国的瓣鳃类化石编写小组, 334 页, 图版 131, 图 11。

cf. 1982 *Acuticosta subparallelus* Martinson, 魏景明, 25 页, 图版 47, 图 2。

材料 外模标本 1 块, 为轮廓完整的左壳。

特征 壳中等, 壳长 45 mm, 壳高 25 mm。壳薄, 长卵形, 不等侧。前部宽圆, 沿后部伸长为短圆状。前背边和后腹边较直, 倾斜。壳顶宽平, 微凸, 不突出较边之上, 靠近前端。壳面因有所破损略显同心壳饰。

讨论 当前标本与新疆准噶尔盆地霍尔果斯采集到的同种标本(魏景明, 1982)在壳形、壳顶特征上一致。

产出层位 新疆准噶尔盆地霍尔果斯河东, 中新统塔西河组; 云南剑川盆地剑川县双河煤矿, 上始新统双河组。

致谢 诚挚感谢审稿人对本文提出的宝贵修改意见。感谢陈林、李杨、王嘉轩等协助完成野外工作, 感谢王国灿、宋博文、李响、王盛栋、艾可可等进行有益的讨论完善了文稿。

参 考 文 献 (References)

Bureau of Geology and Mineral Resource of Yunnan Province (云南省地质矿产局), 1990. Lithostratigraphy of Yunnan Province. Wuhan: China University of Geosciences Press. 1—262 (in

Chinese).

Bureau of Geology and Mineral Resource of Yunnan Province (云南省地质矿产局), 1996. Regional Geology of Yunnan Province. Beijing: Geological Publishing House. 1—367 (in Chinese).

China Stratigraphic Chart Editorial Board, National Stratigraphic Committee in China (全国地层委员会中国地层表编委会), 2014. The Stratigraphic Chart of China. Acta Geoscientica Sinica (地球学报), 35(3): Illustration I (in Chinese with English abstract).

Clark M K, Royden L H, 2000. Topographic ooze building the eastern margin of Tibet by low crustal flow. Geology, 25(4): 311—314.

Editorial Group of Pelecypoda Fossil of China (中国的瓣鳃类化石编写小组), 1976. Pelecypoda Fossil of China. Beijing: Science Press. 1—522 (in Chinese).

Gourbet L, Leloup H P, Paquette J L, Sorrel P, Maheo G, Wang G C, Xu Y D, Cao K, Antoine P O, Eymard I, Liu W, Lu H J, Replumaz A, Chevalier L M, Zhang K X, Wu J, Shen T Y, 2017. Reappraisal of the Jianchuan Cenozoic basin stratigraphy and its implications on the SE Tibetan plateau evolution. Tectonophysics, (700-701): 162—179.

Guo Fu-xiang (郭福祥), 1985. Fossil Bivalves of Yunnan. Kunming: Yunnan Science and Technology Publishing House. 1—319 (in Chinese with English abstract).

Guo Shu-yuan (郭书元), Sun Chang-hong (孙长虹), 2003. An ecological environment analysis of Pelecypoda from Neolithic Xishuipo site in Puyang City of Hebei Province. Journal of Palaeogeography (古地理学报), 5(4): 450—460 (in Chinese with English abstract).

Guo Shu-yuan (郭书元), Zhan Wei (詹伟), Wang Qiang (王强), 2014. Mideole Holocene *Lamprotula* fauna from Baiyang-dian area, Hebei Province and its environment significance. Journal of Palaeogeography (古地理学报), 16(3): 335—346 (in Chinese with English abstract).

Huang Bao-yu (黄宝玉), 1981. The fresh-water Lamellibranchs from the site of the Zengpiyan Cave in Guilin, Guangxi. Acta Palaeontologica Sinica (古生物学报), 20(3): 199—207 (in Chinese with English abstract).

Huang Bao-yu (黄宝玉), 1983. Miocene non-marine Lamellibranchs from Xiaoaowan, Sihong, northern Jiangsu. Acta Palaeontologica Sinica (古生物学报), 20(2): 123—128 (in Chinese with English abstract).

Huang Bao-yu (黄宝玉), 1992. On a new genus (Lamellibranch) from the Tertiary in Baise Basin, Guangxi. Wuyi Science Journal (武夷科学), 9: 287—290 (in Chinese with English abstract).

Huang Bao-yu (黄宝玉), Zhang Xian-qiu (张显球), 1982. Late Cretaceous and Early Tertiary non-marine Lamellibranchs from the Pearl River Delta. Acta Palaeontologica Sinica (古生物学报), 21(3): 267—279 (in Chinese with English abstract).

Ji Jun-liang (季军良), Zhu Min (朱敏), Wang Xu (王旭), Luo Pan (罗攀), Dong Xin-xin (董欣欣), 2010. Ages of the

- Cenozoic strata on the southern margin of Junggar Basin, northwestern China. *Journal of Stratigraphy (地层学杂志)*, **20**(1): 43—50 (in Chinese with English abstract).
- Lin Zhen-tao (林振涛), 1962. Unionidea (Mollusca) of the Poyang Lake, Jiangxi Province, China. *Acta Zoologica Sinica (动物学报)*, **14**(2): 249—260 (in Chinese with English abstract).
- Ling Lian-hai (凌联海), Lou Fa-sheng (楼法生), Luo Chun-lin (罗春林), Wu Ming-ren (吴明仁), Cheng Chun-hua (程春花), Song Zhi-rui (宋志瑞), 2005. Discovery of new fossils in the Aketupbieke area, Nilka County, Ili, Xinjiang, and their geological significance. *Geological Bulletin of China (地质通报)*, **24**(5): 438—441 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yue-ying (刘月英), Wang Yue-xian (王跃先), Zhang Wen-zhen (张文珍), 1965. Unionidae (Mollusca) with its economic significance of China. *Biologica Bulletin Sinica (生物学通报)*, (1): 16—23 (in Chinese).
- Liu Yue-ying (刘月英), Zhang Wen-zhen (张文珍), Wang Yue-xian (王跃先), 1980. Bivalva (Mollusca) of Taihu and its surrounding waters, Jiangsu Province, China. *Acta Zoologica Sinica (动物学报)*, **26**(4): 365—369 (in Chinese with English abstract).
- Ma Hong-jie (马宏杰), 2013. Cenozoic Stratigraphy and Palaeoenvironmental Changes in Hengduan Mountains, Southwest China. Kunming; Kunming University of Science and Technology. 1—183 (in Chinese with English abstract).
- Royden L H, Burchfiel B C, King R W, Wang E, Chen Z L, Shen F, Liu Y P, 1997. Surface deformation and Lower crustal flow in eastern Tibet. *Science*, **276**(5313): 788—790.
- Shen Qing-qiang (沈箐强), Cao Kai (曹凯), Wang Guo-can (王国灿), Xu Ya-dong (徐亚东), Zhang Ke-xin (张克信), 2017. Paleogene sedimentary and structural evolution of the Jiangchuan-Lanpin Basin, western Yunnan and its regional tectonic implications. *Geotectonica et Metallogenia (大地构造与成矿学)*, **41**(1): 23—41 (in Chinese with English abstract).
- Tapponnier P, 2001. Oblique stepwise rise and growth of the Tibet Plateau. *Science*, **294**(5547): 1671—1677.
- Tapponnier P, Peltzer G, Armijo R, 1986. On the mechanics of the collision between India and Asia. *Collision Tectonics*, (19): 115—157.
- Tapponnier P, Peltzer G, Ledain A Y, Armijo R, Cobbold P, 1982. Propagating extrusion tectonics in Asia; New insights from simple experiments with plasticine. *Geology*, **10**(12): 611—616.
- Wang Guo-can (王国灿), Zhang Ke-xin (张克信), Xiang Shu-yuan (向树元), Wang An (王岸), Cao Kai (曹凯), 2014. Cenozoic Geological Map of the Qinghai-Tibetan Plateau and Its Adjacent Area and Instruction. Beijing; Geological Publishing House. 1—165 (in Chinese with English abstract).
- Wei Jing-ming (魏景明), 1982. The fossil assemblage sequence of the Late Permian-Middle Mesozoic and Early Cenozoic bivalve fauna and its significance for stratigraphic age division, comparison and palaeoclimate, Xinjiang Province. *Xinjiang Petroleum Geology (新疆石油地质)*, (1): 193 (in Chinese).
- Wu J, Zhang K X, Xu Y D, Cao K, Carmala N G, Philippe H L, Philippe S, 2018. High paleoelevation in the Jianchuan Basin of the Southeast Tibetan Plateau based on stable isotopes and palynomorphs. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. doi.org/10.1016/j.palaeo.2018.03.030.
- Xie Guang-pu (颜光谱), 1999. Tertiary bivalves from the Xianshuihe Formation of Lanzhou Basin, Gansu. *Acta Palaeontologica Sinica (古生物学报)*, **38**(1): 94—101 (in Chinese with English abstract).
- Zhang K X, Wang G C, Ji J L, Luo M S, Kou X H, Xu Y D, Chen F N, Chen R M, Song B W, Zhang J Y, Liang Y P, 2010. Paleogene-Neogene stratigraphic realm and sedimentary sequence of the Qinghai-Tibet Plateau and their response to uplift of the plateau. *China Earth Science*, **53**(9): 1271—1294.
- Zhang Xi (张玺), Li Shi-cheng (李世成), 1965. Bivalves (Mollusca) of the Poyang Lake and surrounding waters, Jiangxi Province, China, with description of a new species. *Acta Zoologica Sinica (动物学报)*, **17**(3): 309—319 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Xi (张玺), Li Shi-cheng (李世成), Li Yue-ying (李月英), 1965. Bivalves (Mollusca) of Dongting Lake and its surrounding water, Hunan Province, China. *Acta Zoologica Sinica (动物学报)*, **17**(2): 197—216 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Guo-guang (赵国光), 1965. Preliminary observation of Cenozoic strata and structure in Dali-Lijiang area of northwest Yunnan Province. *Geological Review (地质评论)*, **23**(5): 345—358 (in Chinese).

LATE EOCENE BIVALVIA FOSSILS FROM THE SHUANGHE FORMATION IN JIANCHUAN BASIN, YUNNAN PROVINCE AND ITS GEOLOGICAL IMPLICATION

ZHENG Guo-dong¹⁾, XU Ya-dong^{1,2)}, ZHANG Ke-xin^{1,2,3)}, QIN Qiong⁴⁾, WU Jing¹⁾ and WU Shun-bao¹⁾

1) School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2) State Key Laboratory of Biological and Environmental Geology, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

3) Key Laboratory of Sedimentary Basin and Oil and Gas Resources, Ministry of Natural Resources, Chengdu 610081, China;

4) Geological Survey of China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

5) Geophysical and Geochemical Team, NON-ferrous Metals and Nuclear Industry Geological Exploration Bureau of Guizhou Province, Duiyun 558000, China;

6) China Energy Engineering Group Zhejiang Electric Power Design Institute Co. LTD, Hangzhou 310014, China

Key words Bivalvia, Shuanghe Formation, late Eocene, Jianchuan Basin, southeastern Tibetan Plateau

Abstract

The southeastern Tibetan Plateau is considered as the main region where material escalation caused by the Tibetan Plateau, and it records the sedimentary, tectonic and biological events reflecting the uplift of the plateau. The Jianchuan Basin is one of the pull-apart basins in the southeastern Tibetan Plateau. The Shuanghe Formation is the main sedimentary strata of the Jianchuan Basin. The bivalve fossils from this formation lack detailed study, and only limited reports had been documented. In this paper, nine species and four genera of bivalves are found under systematic specification in the Jianchuan Basin. Four genera are *Unio*, *Acuticosta*, *Cuneopsis* and *Anodonta*, and nine species include *Acuticosta huoerguosica*, *Acuticosta* sp., *Acuticosta*

subimmutata, *Cuticosta* cf. *chinensis*, *Acuticosta* cf. *cuspidata*, *Acuticosta* cf. *semiretiaria*, *Unio* cf. *subparallelus*, *Cuneopsis* cf. *subceltiformis* and *Anodonta* cf. *subpiscinalis*. All of the species belong to the family Unionidae. The genus *Acuticosta* and *Cuneopsis* are modern characteristic genera in eastern Asia, and *A. chinensis* and *C. subceltiformis* are present existing species south of the Yangtze River. However, *A. chinensis* was just reported in Xinjiang before. Based on ages of intrusive veins and standard Ostracoda fossil zones, the Shuanghe Formation could be constrained in late Eocene. Therefore, this paper not only provides new evidence of bivalve fossils in western Yunnan Province, but also reveals a subtropical fresh-water delta-front and prodelta environment of the Jianchuan Basin during the late Eocene.